

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500566

研究課題名(和文)加齢に伴う姿勢と運動制御の不安定化メカニズムの解明

研究課題名(英文)The mechanism of unstable motor control with age

研究代表者

笠原 敏史 (KASAHARA, SATOSHI)

北海道大学・大学院保健科学研究院・助教

研究者番号：10312422

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：高齢者の立位時の姿勢および運動の不安定性について、健康な若年者と高齢者を対象に視覚誘導型の足圧中心を用いた追跡運動課題を行った。高齢者は与えられるフィードバック情報に立位バランスは影響を受け、運動の開始だけでなく運動の停止も遅延し、大きな変動性を持つことが明らかとなった。このとき、高齢者の立位バランスへの二関節筋の作用や垂直方向への姿勢戦略が重要な役割を果たすことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To understand the mechanism of unstable postural and motor control with age, this study investigated the motor performance and muscle activities of legs in healthy young adults and elder adults using the visually guided tracking task in the force platform. The postural control of the elderly group influenced by feedback during standing, and responses of both the initiation and the termination of movement were delayed and variable. This study suggests that the role of biarticular muscles of legs and the vertical postural strategy (i.e., antigravity control) is important to control the stability during standing in elders.

研究分野：総合領域

キーワード：理学療法学 運動制御 加齢・老化

### 1. 研究開始当初の背景

加齢により様々な機能・能力の低下が顕在化する。特に、バランス能力はそれ自体の機能低下の度合いが顕著であるとともに、日常生活への影響が大きい機能系である。高齢者の姿勢と運動制御の特徴は、運動課題の開始時間に対する遅い運動反応時間によって定義されるような慎重な運動戦略を取り入れる (Truher et al. 2008)。そのため、高齢者の運動方略は若年者に比べてより固定化された戦略(つまり、ある一定の運動の型)でしか行えないことが指摘されている (Lin et al. 2011)。一方で、静的バランス及び動的バランス能力の年齢差の研究では運動課題に依存して有意差を持つ結果や無い結果が混在し、要因として高齢者の成績の大きなばらつきが考えられている (内山ら 1998)。Bernstein の運動制御のシステム理論 (1967) から、若年者の安定した運動成績は多様性の中から統制された運動制御により成されるものであり、「冗長な自由度の克服」を表している。高齢者の場合、様々な機能低下により制約されるが、最終的に一定の運動の型で行われているにも拘わらず、運動成績は不安定であるという矛盾が生じる。従って、姿勢・運動制御の年齢差を議論する前に加齢による運動制御と運動成績の不安定さのメカニズムについて解明することが重要である。

### 2. 研究の目的

最適な運動技能の獲得は運動学習によって達成される。運動学習の初期～中間段階は課題の理解と Feedback 系によって最適な運動制御が構築されていく。運動学習の最終段階では Feedforward 系により運動は自動化される。加齢による運動制御及び運動成績の不安定化が学習のどの段階でみられるのか、そして、不安定化の要因に影響を与えるものは何かを明らかにする。

具体的には、(1) 運動成績の不安定の発現機序、姿勢・運動制御の方略との関係について明らかにする(どの段階で、どの部位に出現し、どのように修正され、どのように収束されるのか?)。本研究では、離散運動課題と周期的運動課題の両方を用いて実験を行い、運動制御を調べる視覚誘導型課題特性の加齢の影響を調べる。(2)(1)について、健康高齢者と健康若年者の姿勢戦略や筋シナジーを比較することにより最適な運動制御の構築と運動成績の安定化への加齢の影響を調べる。(3) 安定した運動実行(つまり、ばらつきの無い運動遂行)に影響を与える要素を考慮した介入訓練の立案と効果について検証する。

### 3. 研究の方法

(1) 高齢者の立位での視覚誘導型追跡運動課題時の姿勢・運動制御への加齢の影響

被験者は健康若年者 20 名と地域に居住する健康高齢者 20 名であった。被験者は 1 枚

の床反力計上に立ち、眼前に設置されたコンピュータスクリーンから自身の荷重量の視覚的フィードバック情報を受け取る。目標が同じスクリーン上に呈示され、コンピュータによって正弦波状の上下運動に制御された。被験者にスクリーン内で目標と自身の荷重量を一致させるよう指示した。追跡運動の正確さと運動成績の安定期に着目した。

(2) 高齢者の追跡運動課題時の姿勢・運動制御の特徴と不安定要素について

若年者と高齢者に立位時に視覚誘導型の足圧中心追跡課題(コンピュータモニターを見ながら、両方の足底の圧力が最も加わる点と目標となる点を重ね合わせる課題)を行わせ、運動の正確さ及び運動開始と運動停止、下肢関節運動、下肢筋活動について調べた。実験は上述の(1)と同様の床反力計を使用し、下肢関節運動及び下肢筋活動をそれぞれ 3 次元動作解析装置と表面筋電計を同時に記録した。

(3) 高齢者の転倒予防のためのバランス訓練の予備的研究

(1)および(2)より、前後方向への COP 移動時の垂直方向への姿勢制御に加齢変化を認める興味深い結果を基に、垂直方向への姿勢戦略および抗重力制御を考慮した訓練を考案した。具体的には、健康な高齢男性 10 名を対象に、重りを肩関節の高さに固定し、重心位置を高位にした状態(図 1 Rosker ら 2011 を参考)でのバランス訓練を行わせ、その効果について検証した。

### 4. 研究成果

高齢者の視覚誘導型追跡運動課題の運動成績

本運動課題の難易度は振幅の大きさと運動の速さ、または、周波数によって決定され、運動速度が増加すると運動の正確さは低下していた(図 1)。高齢者は若年者に比べて運動成績の安定期は遅延しており、運動学習の初期～中間段階のフィードバック系に加齢の影響を受ける可能性が示唆された。また、



図 1 重りを使った重心高位の立位姿勢(Rosker ら 2011)

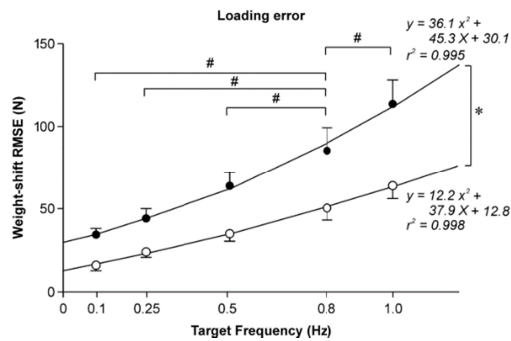


図2 運動の速さと正確さ (業積論文1より)

運動成績の安定期は0.5Hz以下で同じであったが、0.8Hzから著しく遅延していた(図2)。高齢者の運動適応後の運動成績は自身の足圧中心に関する情報のみ視覚的に与えられる条件で若年群より著しく低下していた。また、適応後、視覚情報を遮断した場合(閉眼時)両群とも運動成績は遮断前に比べ有意に低下したが、年齢差を認めなかった。適応後の運動制御において、高齢者は、適応後に視覚から得られる自身の足圧中心を処理し、運動制御に役立たせることが困難であることが示された。

#### 高齢者の立位姿勢制御の特性

本研究課題でも高齢者は股関節を主に用いる立位姿勢制御を行い、過去の研究報告と一致していた。さらに、下肢筋活動の因子分析から二関節筋であるハムストリングスが高齢者の姿勢制御に加わることが明らかとなった。また、後方への姿勢および運動を修正する時、若年者に比べて高齢者は重心を下方に移動させていた。高齢者は垂直方向への姿勢制御、つまり、第3の姿勢戦略である膝関節を中心とした懸垂戦略を代償的に用いることが示された(図4)。

一連の運動遂行の中で高齢者の不安定性が主に出現するのかを明らかにするため、足圧中心を前方へランプ状(ゆっくりと動く)とステップ状(素早く動く)に移動させる立位運動課題を高齢者と若年者に行わせた。その結果、ステップ状の運動課題(素早く動いて、

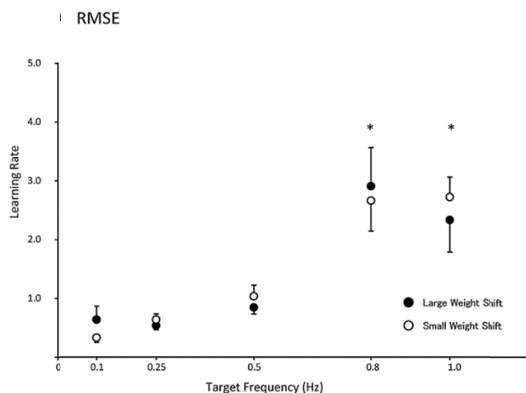


図3 運動の速さと運動安定期 (業積論文1より)

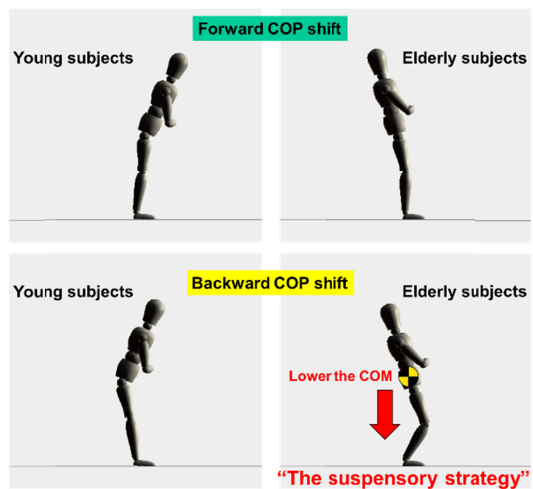


図4 若年者と高齢者の垂直方向の姿勢戦略(学会発表1より)

止まる課題)では反応時間、前方移動直前に後方へ移動する時間(準備期)、運動を停止するのに要する時間(制動期)の変動係数に年齢差がみられ、高齢者でばらつきが大きかった。一方、運動開始後の前方へ移動している時間(推進期)に差はなかった。ランプ状の運動課題では全項目で差はなかった。これらの結果から、高齢者は素早い運動を行うとき、反応時間だけでなく、運動の準備や停止にも不安定性さが出現することを明らかにした。

#### 高齢者の転倒予防のためのバランス訓練の短期効果について

本研究で得た高齢者の運動の不安定性の特徴を考慮したトレーニング内容を作成し、その効果を検証した。具体的には、重心位置を高位に操作し(図1)、運動停止や制動を要求する運動課題を訓練内容に取り入れた。その結果、トレーニング直後の立位姿勢時の立位姿勢時の運動パフォーマンスの安定性が向上し、作成したトレーニングの即時効果を得ることができた。しかしながら、訓練時の重り負荷の加え方、高齢者を対象とした場合の適切な負荷量の決定、運動課題などについての検証が不十分であり、今後は訓練方法の改良と効果判定にさらなる研究が必要であると思われる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計7件)

1. Kasahara S, Saito H. Effect of loading parameters on motor performance during a dynamic weight-shift task. *Gait Posture*. 41(1):100-1005, 2015 (査読有)
2. Saito H, Yamanaka M, Kasahara S, Fukushima J. Relationship between

improvements in motor performance and changes in anticipatory postural adjustments during whole-body reaching training. Hum Mov Sci. 37:69-86, 2014 (査読有)

3. 笠原敏史, 吉田美里, 齊藤展士, 高橋光彦, 柚原千穂. 高齢者のスクワット動作時の下肢関節運動. 理学療法科学 29(6):911-915, 2014 (査読有)

4. 柚原千穂, 笠原敏史, 齊藤展士, 高橋光彦, 吉田美里. 高齢者のスクワット動作の特徴. 理学療法科学 29(5):765-769, 2014 (査読有)

5. 笠原敏史, 齋藤展士, 高橋光彦. エビデンスにつなげるための臨床場面で身近に使える測定法: 生体信号処理の方法. 理学療法: 31(4):429-436, 2014 (査読無)

6. 笠原敏史, 齋藤展士, 寒川美奈, 水鳥武蔵, 廣瀬利彦, 戸塚満久. 荷重量移動課題の運動特性について. 理学療法科学 28(3):395-398, 2013 (査読有)

7. 高橋光彦, 笠原敏史. エビデンスにつなげるための臨床場面で身近に使える測定法-筋疲労の測定法-. 理学療法: 30(10):1149-1155, 2013 (査読無)  
〔学会発表〕(計20件)

1. Kasahara S, Saito H. THE EFFECT OF AGING ON THE VERTICAL POSTURAL ADJUSTMENT DURING THE COP-SHIFT TASK. The 17<sup>th</sup> WCPT Congress, 2015, May 1-4, Singapore, the Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre.  
2. Saito H, Kasahara S, Yamanaka M, Chiba T. Changes in postural control during a repetitive reaching task. The 17<sup>th</sup> WCPT Congress, 2015, May 1-4, Singapore, the Suntec Singapore Convention & Exhibition Centre.

3. 笠原敏史, 齊藤展士. 加齢による運動停止課題への影響. 第14回日本抗加齢医学会. 2015.5.29-31, 福岡市, 福岡国際会議場.

4. 湊恵理子, 笠原敏史, 齊藤展士, 秋山新. 傾斜板上の足関節肢位の変化による立位バランスへの影響. 第50回日本理学療法学会. 2015/6/5-7, 東京都, 東京国際フォーラム.

5. 秋山新, 笠原敏史, 齊藤展士, 湊恵理子. 若年者と高齢者のスクワット動作の比較. 第50回日本理学療法学会. 2015.6.5-7, 東京都, 東京国際フォーラム.

6. 齊藤展士, 山中正紀, 笠原敏史, 千葉健. 膝関節可動域制限による股関節・足関節運動と姿勢筋の筋活動への影響. 2015.6.5-7, 東京都, 東京国際フォーラム.

7. Hasegawa N, Sakuma M, Mani H, Totsuka M, Tsuda A, Ito K, Ohashi T, Suwahara T, Takeda K, Zhao J, Hsiao SF, Kasahara S, Asaka T: Different effects of motor learning between visual and auditory feedback exercises in dynamic postural balance, APCOCS 2014, June 12-13, Sapporo

8. 笠原敏史, 齋藤展士. スクワット動作への加齢の影響. 第14回日本抗加齢医学会総会. 2014.6.6-8, 大阪市, 大阪国際会議場.

9. 笠原敏史, 齊藤展士, 高橋光彦. 垂直姿勢制御への加齢の影響. 第49回日本理学療法学会. 2014.5.30-6.1, 横浜市, パシフィコ横浜.

10. 柚原千穂, 笠原敏史, 齊藤展士, 吉田美里. スクワット動作への加齢の影響. 第49回日本理学療法学会. 2014.5.30-6.1, 横浜市, パシフィコ横浜.

11. 吉田美里, 笠原敏史, 齋藤展士, 柚原千穂. スクワット動作時の関節運動への加齢の影響について. 第49回日本理学療法学会. 2014.5.30-6.1, 横浜市, パシフィコ横浜.

12. 長谷川直哉, 萬井太規, 戸塚満久, 津田章代, 伊藤久美子, 大橋哲朗, 諏訪原司, 武田賢太, 趙 静, Hsiao Shih-Fen, 笠原敏史, 浅賀忠義. 感覚フィードバックの違いが動的バランスの学習効果に与える影響. 第49回日本理学療法学会. 2014.5.30-6.1, 横浜市, パシフィコ横浜.

13. 齊藤展士, 川口みなみ, 山中正紀, 笠原敏史. 膝関節運動制限による股関節および足関節運動への影響. 支持面の前後傾斜刺激における立位保持戦略の検討. 第49回日本理学療法学会. 2014.5.30-6.1, 横浜市, パシフィコ横浜.

14. 高橋光彦, 笠原敏史, 藤木直人. スモン患者の膝屈伸における両側・片側収縮力について. 日本体力医学会大会. 2014.9.19-21, 長崎市, 長崎大学文教キャンパス.

15. Kasahara S, Saito H, Samukawa M. Larger somatosensory stimuli contributes to the improvement of motor control and motor skill acquirement. The 2nd Joint World Congress of ISPGR (International Society for Posture & Gait Research) and Gait and Mental Function, 2013 June 22-26, Akita, Akita View Hotel.

16. Saito H, Yamanaka M, Kasahara S. Postural control adaptation during a repeated load release task. The 2nd Joint World Congress of ISPGR (International Society for Posture & Gait Research) and Gait and Mental Function, 2013 June 22-26, Akita, Akita View Hotel.

17. 笠原敏史, 高橋優美, 齊藤展士, 寒川美奈. 加齢に伴う多関節筋の筋機能の変化. 第48回日本理学療法学会. 2013.5.24-26 名古屋市, 名古屋国際会議場.

18. 高橋優美, 笠原敏史, 齊藤展士, 寒川美奈. 低速度での運動停止課題への加齢の影響について. 第48回日本理学療法学会. 2013.5.24-26, 名古屋市, 名古屋国際会議場.

19. 齊藤展士, 笠原敏史, 山中正紀. 重錘落下課題の繰り返しによる姿勢制御の適応. 第48回日本理学療法学会. 2013.5.24-26 名古屋市, 名古屋国際会議場.

20. 齊藤展士, 山中正紀, 笠原敏史: 重錘落下課題において予測可能な外乱が繰り返し与えられたときの姿勢の適応. Neuro 2013. 2013.6.20-23, 東京都, 国立京都国際会館.

〔図書〕(計0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0 件)

取得状況(計0 件)

〔その他〕

ホームページ等

研究室 HP

<https://sites.google.com/site/kasalabd406/>

所属 HP

<http://www.hs.hokudai.ac.jp/pt/index.html>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

笠原 敏史 (KASAHARA SATOSHI)

北海道大学・大学院保健科学研究院・助教

研究者番号: 10312422

### (2)研究分担者

( )

研究者番号:

### (3)連携研究者

( )

研究者番号: